



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

AKI KOISTINEN
RAUTATIELIIKENTEEN AIHEUTTAMAN TÄRINÄN JA MELUN VAI-
KUTUS VIIHTYVYYTEEN

Kandidaatintyö

TIIVISTELMÄ

AKI KOISTINEN: Rautatieliikenteen aiheuttaman tärinän ja melun vaikutus viihtyvyyteen

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintyö, 28 sivua

Tammikuu 2019

Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Yhdyskuntatekniikka

Tarkastaja: Mika Knuuti

Avainsanat: Rautatieliikenne, tärinä, melu, runkomelu, viihtyvyys

Tässä työssä selvitettiin rautatieliikenteen aiheuttaman melun ja tärinän vaikutuksia ihmiseen sekä asumiseen sekä tutkia keinoja niiden haittavaikutusten vähentämiseksi. Työ suoritettiin kirjallisuustutkimuksena ja lähtökohtana oli määrittää suurimmat melun ja tärinän aiheuttajat Suomen rautatieliikenteessä.

Työn alkuosassa esiteltiin rautatieliikennettä Suomessa, jonka jälkeen perehdyttiin meluun ja tärinään. Molemmat ympäristöhaitat määritettiin ja kuvattiin niiden syntymistä ja leviämistä ympäristöön junaliikenteen vuoksi. Näiden synnyn yhteydessä muodostuu myös runkomelua, joka on tärinän ja melun väli-ilmenemismuoto. Asiaa tutkittiin VTT:n tekemien selvitysten pohjalta ja aiempien tutkimusraporttien pohjalta.

Ihminen kokee niin melun kuin tärinänkin haitallisena usein kotonaan ja asumisviihtyvyyden laskuna. Puhtaasti mitattuna junaliikenteestä syntyvä tärinä tai melu ei ole voimakasta, mutta pitkään aistittuna se vaikuttaa ihmisen terveyteen negatiivisesti. Meluhaittoja on helpompi mitata ja valvoa, joten sille on olemassa tarkat raja-arvot Suomen lainsäädännössä. Tärinälle taas ei lainvoimaisia lukuja löytynyt, mutta sen sijaan löytyi olemassa olevia suosituksia ja ohjeita, joita noudatetaan suunnittelussa.

Melun ja tärinän torjuntakeinot jaetaan suunnitteluun, junakalustoon, ratarakenteeseen, radan ympäristöön sekä rakennuksiin liittyvään torjuntakeinoihin. Osa niistä on luonnollisia ylläpitotoita, kun taas osa vaatii erityistä rakentamistyötä ja panostusta. Työssä päädyttiin siihen, että radan ja kaluston ylläpidolla voidaan ehkäistä melun sekä tärinän syntymistä merkittävästi. Samalla se lisäisi matkusturvallisuutta, mikä osaltaan parantaa junaliikenteen vaikutelmaa.

ABSTRACT

AKI KOISTINEN: Effects of railway noise and vibration on humans

Tampere University of Technology

Bachelor's Thesis, 28 pages

January 2019

Bachelor's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Earth and Foundation Structures

Examiner: Mika Knuuti

Keywords: railway traffic, noise, vibration, comfort

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	RAUTATIELIIKENTEEN AIHEUTTAMA MELU JA TÄRINÄ.....	3
2.1	Rautatieliikenne Suomessa.....	3
2.2	Melu	5
2.2.1	Melun määritelmä	6
2.2.2	Raideliikenteen aiheuttama melu	7
2.2.3	Melun leviäminen	9
2.3	Tärinä	10
2.3.1	Juna tärinälähteenä.....	10
2.3.2	Tärinän leviäminen maassa.....	11
2.4	Runkomelu	13
3.	VAIKUTUKSET IHMISEEN	15
3.1	Tärinä	15
3.2	Melu	16
4.	MELUN JA TÄRINÄN HUOMIOMINEN SUUNNITTELUSSA	19
4.1	Mittaaminen	19
4.2	Melustandardit.....	20
4.3	Tärinän ohjearvot	21
5.	RAUTATIELIIKENTEEN MELUN JA TÄRINÄN TORJUNTA.....	24
5.1	Tärinän eristys	24
5.2	Melun vaimennus	26
6.	YHTEENVETO	28
	LÄHTEET	29

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Suomen rataverkko ja sen sähköistetyt osuudet (Liikennevirasto 2018c).....</i>	<i>3</i>
Kuva 2.	<i>Rautateiden ydinverkko Suomessa (Liikennevirasto 2018a).....</i>	<i>4</i>
Kuva 3.	<i>Rautatieliikenteestä aiheutuvien ympäristövaikutusten leviämisreitit (Talja & Saarinen 2009, s. 15).....</i>	<i>5</i>
Kuva 4.	<i>Erilaisten äänien taajuusjakaumat (Tiihinen & Hänninen 1997).....</i>	<i>7</i>
Kuva 5.	<i>Nopeuden kasvun vaikutus raideliikenteen melulähteisiin (Soosalu & Innanen 2009).....</i>	<i>7</i>
Kuva 6.	<i>Mitattu ja A-painotettu äänispektri (Kylliäinen 2006).....</i>	<i>8</i>
Kuva 7.	<i>Junien ja maalajien aiheuttamat haitalliset tärinä alueet (Talja 2004).....</i>	<i>12</i>
Kuva 8.	<i>Suuntaa antavia etäisyyksistä, jolla tärinä voi häiritä ihmistä (Talja & Törnqvist 2014, s.6).....</i>	<i>13</i>
Kuva 9.	<i>Liikennemelun erittäin häiritseväksi koettu desibelitaso (Jauhiainen et al. 2007).....</i>	<i>16</i>
Kuva 10.	<i>Stressin kehittyminen ketjuna (Jauhiainen et al. 2007).....</i>	<i>17</i>
Kuva 11.	<i>Melun sekä tärinän syyseurausmalli (Pesonen 2014).....</i>	<i>18</i>
Kuva 12.	<i>Tärinän mittauksessa käytetty kulmarauta ja kiihtyvyyssanturit (Leppänen 2008).....</i>	<i>19</i>
Kuva 13.	<i>Tärinän vaimennus vaihtoehtojen kuvaus (Talja 2011).....</i>	<i>24</i>
Kuva 14.	<i>Tärinäeristysratkaisujen vaikutus eri taajuiseen värähtelyyn 10-20 metrin etäisyydellä tärinäesteestä. (Talja et al. 2009).....</i>	<i>25</i>
Kuva 15.	<i>Kumiset kiskonvaimentimet (Vahtera 2011) sekä pyörien kotelointi (Soosalu & Innanen 2009).....</i>	<i>26</i>
Kuva 16.	<i>Teräsrakenteinen ja alumiininen meluaita (Soosalu & Innanen 2009, s. 16-18).....</i>	<i>27</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

L_{Aeq}	A-painotettu keskiääänitaso
$p_A(t)$	hetkellinen äänenpainesignaali
p_0	vertailu äänenpaine
T	mittausjakson pituus
v_0	pystysuora vertailuheilahdusnopeus maassa 15 m etäisyydellä
k_D	etäisyyskerroin
k_S	junan nopeudesta riippuva kerroin
k_G	junan painosta riippuva kerroin
k_R	radan kunnosta riippuva kerroin
k_B	tärinän vahvistumiskerroin rakennuksessa
v_{max}	heilahdusnopeuden huippuarvo

.

1. JOHDANTO

Talous ja tekniikka kehittyvät niin Suomessa kuin maailmalla. Suomen yksi suuri kehitysaskel oli rakentaa koko maan kattava rautatieverkosto 1800-luvun loppupuolella. Suomi kuului tuolloin Venäjän vallan alaisuuteen, mikä näkyy edelleen käytössä olevana raideleveytenä (1 524 mm). Samaan aikaan vallitsevat rakentamissäädökset olivat löysemmät kuin tänä päivänä, jolloin ei osattu ottaa huomion ympäristöä. Rakentamisaikaan liikennemäärät olivat vähäiset eikä sen aikainen junakalusto aiheuttanut kuormaa rautateille. Ajan saatossa rautateiden rahtikuormat ja liikennenopeudet ovat kasvaneet kansainvälisen kilpailun kiristyessä talouden saralla. Näiden kasvun myötä on huomattu melun ja tärinän lisääntyneen raideliikenteen läheisyydessä, ja tulevaisuudessa se koskettaa yhä laajemmalla alueella asuvia ihmisiä, jos ongelmaa ei oteta huomioon.

Tämä kandidaatintyö tutkii rautatieliikenteen aiheuttamaa melua ja tärinää esittelemällä niiden syntyvän ja perehtymällä niiden mahdollisiin vaikutuksiin ihmisen viihtyvyyteen. Tutkimus tehdään kirjallisuustutkimuksena. Melu ja tärinä ovat aistittavissa jokaiselle ihmiselle, mutta toisaalta jokainen kokee ne eri tavalla, joten tulokset ovat arvioita niiden kokemisesta. Työssä keskitytään Suomen kaltaisiin olosuhteisiin ja ympäristöihin.

Työn alussa esitellään työhön liittyvät oleelliset käsitteet ja niiden teoreettinen tausta. Tällaiset käsitteet ovat rautatieliikenne, melu ja tärinä. Rautatieliikenteen kyseessä tarkastellaan nimenomaan liikennetärinää ja -melua. Tärinän yhteydessä perehdytään myös runkomeluun, jonka ihminen aistii samalla tavalla kuin tärinän eikä sitä useinkaan pystytä erottamaan, vaikka sen synty tapa eroaa tärinästä. Samalla perehdytään ympäristön muutostekijöihin, kuten lämpötilan vaihteluun eri vuodenaikoina, ja niiden vaikutuksiin rautatieliikenteen ympäristövaikutusten voimakkuuteen ja leviämiseen.

Luvussa kolme kerrotaan liikennemelun ja -tärinän vaikutuksista ihmiseen. Ihmisen kokeminen on aina uniikkia, mutta asiasta tehdyt tutkimukset antavat suuntaviivat ympäristövaikutuksista. Niiden perusteella tehdään johtopäätöksiä siitä, mitkä asiat ovat merkittävimpiä haittoja. Luvussa kerrotaan melun ja tärinän terveydellisistä haitoista sekä niiden häiritsevyydestä asuinvihtyvyyteen.

Haittojen jälkeen esitellään melua ja tärinää koskevia ohjeita ja määräyksiä ja kuinka ne huomioidaan suunnittelussa. Luvussa todetaan, millaisia raja-arvoja on olemassa Suomen lainsäädännössä melulle ja tärinälle. Lisäksi kerrotaan lyhyesti mittauksien suorittamisesta ja niissä käytettävistä kalustoista.

Tärinää kuin meluakin voidaan hallita ja minimoida erinäisin rakentein. Lopuksi perehdytään yleisiin rakenteellisiin ratkaisuihin, jonka jälkeen esitetään vielä yleiskuvaus muista haittojen torjuntakeinoista rautatieliikenteessä. Tämän lisäksi esitellään rakennettuja melu- ja tärinäesteitä sekä tutkitaan niiden toimivuutta ihmisen viihtyvyyteen. Työn loppuun koostetaan työn olennaisin sisältö yhteenvedon muodossa.

2. RAUTATIELIIKENTEEN AIHEUTTAMA MELU JA TÄRINÄ

2.1 Rautatieliikenne Suomessa

Rautatieliikenteen suosio perustuu sen energiatehokkuuteen, kuljetusmääriin ja välityskykyyn. Suomessa rautatieliikenteen rooli on vakiintunut suurien kaupunkien väliseen liikenteeseen. Tavaraliikenne käyttää samoja rautateitä henkilöliikenteen kanssa. Tavaraliikenne painottuu monilla osuuksilla yöaikoihin henkilöliikenteen sen salliessa. Liikenteen käyttämän rataverkon pituus oli vuoden 2016 lopussa 5 926 km. Tästä 3 270 km on sähköistetty 1960 - luvulta lähtien tähän päivään ja niihin sisältyy eniten liikennöidyimmät osuudet, jotka on esitetty kuvassa 1. Sähköradan jännitteenä käytetään 25 kV ja taajuutena 50 Hz. (Liikennevirasto 2018b)



Kuva 1. Suomen rataverkko ja sen sähköistetyt osuudet (Liikennevirasto 2018c)

Suomen rautateillä on käytössä nopeusrajoitukset. Henkilöjunilla saa ajaa maksimissaan 220 km/h ja tavarajunilla 120 km/h. Jos raiteilla ei ole junien kulunvalvontajärjestelmää (JKV:tä), nopeusrajoitus on enintään 80 km/h kaikilla junilla. JKV-järjestelmä valvoo junien nopeutta. EU:n nimeämä ydinverkko koostuu kolmesta rautatiestä, jotka lähtevät Helsingistä Turkuun, Tornioon ja Kouvolaan. (Liikennevirasto 2015, s. 31 & 35; Liikennevirasto 2018a; LVM. 2018, s. 2)

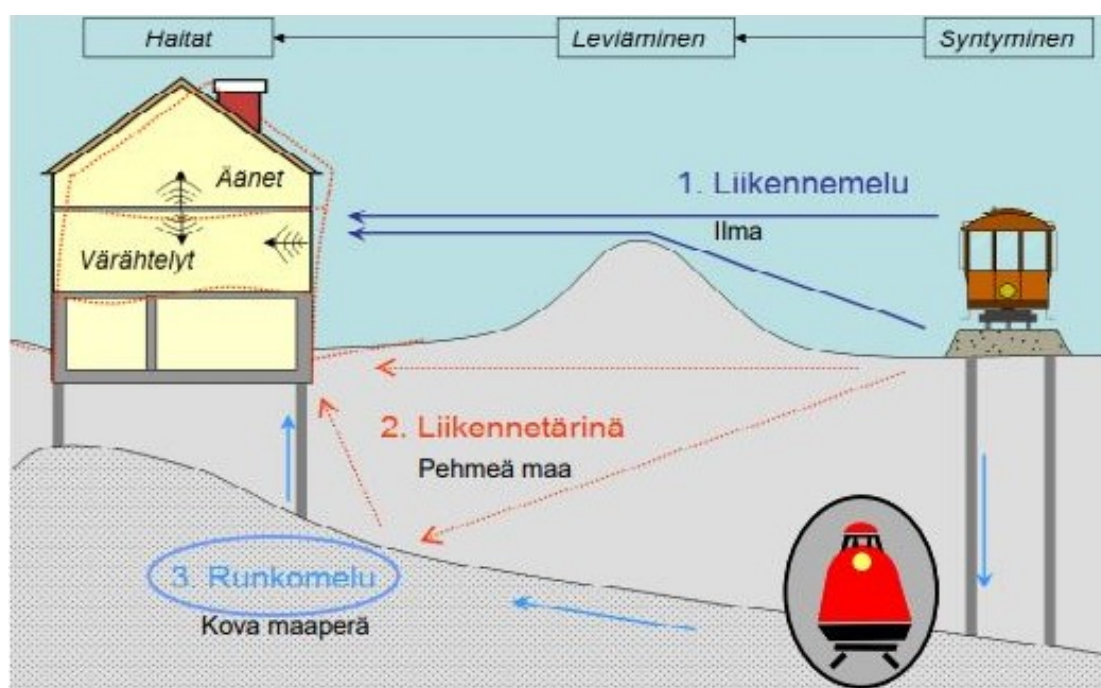


Kuva 2. Rautateiden ydinverkko Suomessa (Liikennevirasto 2018a)

Näistä ydinverkon radoista eniten liikennöity on etelä-pohjois-suunnassa kulkeva rautatieosuus, joka yhdistää Oulun, Seinäjoen ja Tampereen asemat toisiinsa. Osuuden liikennöidyin kaukoliikenteen väli on Riihimäki – Tampere. Tällä rataosalla tehtiin yhteensä 4,4 miljoonaa junamatkaa ja kuljetettiin noin 3,9 miljoonan tonnin edestä tavaraa vuonna 2016. Suomen rautatieliikenne koostuu kauko- ja lähijunaliikenteestä, jonka lisäksi pääkaupunkiseudulla on raitiovaunu- ja metroliikennettä. Myös Tampereelle on rakenteilla raitiotie, joka valmistuu aikaisintaan 2021. Lähijunaliikennettä on tällä hetkellä vain pääkaupunkiseudulla ja kaupunkimainen junaliikenne ulottuu Helsingistä Riihimäelle saakka. Tulevaisuudessa on kuitenkin suunnitteilla lähijunarataa ainakin Tampereelle, jossa on tehty jo varauksia uusille asemille ympäri Pirkanmaata Maakuntakaavassa 2040. (Helin & Lopp 2018; Pirkanmaan maakuntakaava 2040)

Rautatieliikenne ja erityisesti sen henkilöliikenne Suomessa on pysynyt pitkään vakaana ja sen osuus kaikista matkustamisen muodoista on noin 6 %. Matkojen määrissä on hienosta kasvua, etenkin kaukoliikenteessä. Suomessa kuljetussuorite on 79 518 miljoonaa henkilökilometriä, josta raideliikenteen osuus on noin 4 500 miljoonaa hkm. Raideliikenne koostuu raitiovaunu- ja metroliikenteestä, joiden osuus on Suomen mittakaavassa hyvin pieni vertailtaessa matkasuoritetta. Tieliikenteen osuus henkilöliikenteestä on valtava, vuonna 2015 n. 93%, kun taas vesiliikenteen osuus vain 1 %. (Liikennevirasto 2017)

Rautatieliikenne vaikuttaa luonnollisesti ympäristöön, ja tässä työssä perehdytään sen aiheuttamaan liikennemeluun ja -tärinään. Rautatieliikenne aiheuttaa myös muita haittoja ihmisille, koska se rajoittaa maankäyttöä, vaikeuttaa liikkumista radan poikki ja muuttaa maisemaa.



Kuva 3. Rautatieliikenteestä aiheutuvien ympäristövaikutusten leviämisreitit (Talja & Saarinen 2009, s. 15)

Rautatieliikenteen ympäristövaikutusten leviämisreitit eroavat toisistaan, sillä melu leviää ilman välityksellä, kun taas tärinä ja runkomelu etenevät maan välityksellä (kuva 3). Tärinä ja runkomelu ovat luonteeltaan samanlaisia. Ne aistitaan samantyyppisenä värähtelynä, vaikka tärinä etenee pehmeässä maaperässä runkomelun edetessä kovassa maaperässä, kuten kalliossa. (Talja & Saarinen 2009)

2.2 Melu

Käytännössä kaikki äänet ympäristössä voivat olla melua. Tähän vaikuttaa monet ihmisen ominaisuudet, joita tutkitaan luvussa 3.2. Yleisesti kuitenkin melu voidaan rajata tiettyi-

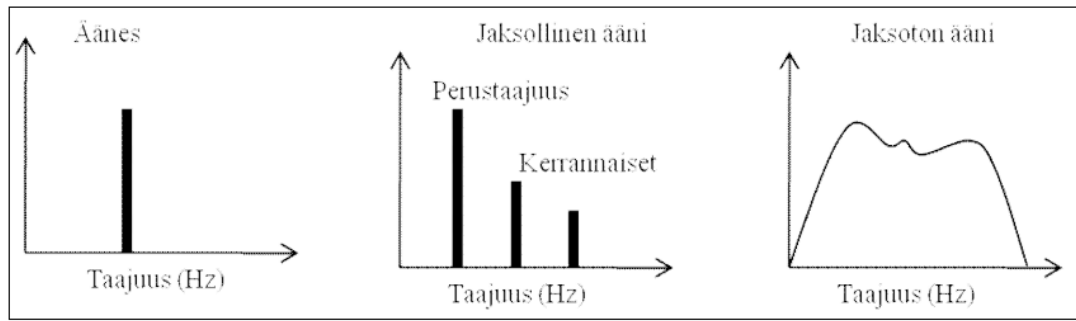
hin lukuarvoihin, joiden ylittyessä ympäristössä esiintyvä ääntä voidaan kutsua ympäristömeluksi. Ympäristömelu koostuu liikenteen lisäksi ulkoisesta teollisuus-, asuin ympäristön -, vapaa-ajan - sekä luonnon melusta. Liikennemelun lähteet jaetaan taas liikenne- muotojen mukaan tieliikenteen, lentoliikenteen, vesiliikenteen sekä työssä tutkittavan rai- deliikenteen aiheuttamaan meluun. (Jauhiainen et al. 2007, s. 14)

2.2.1 Melun määritelmä

Melu määritellään Valtioneuvoston päätöksessä melutason ohjearvoista (993/1992) seu- raavasti: ”Melulla tarkoitetaan terveydelle haitallista, ympäristön viihtyisyyttä merkityk- sellisesti vähentävää tai työntetoa merkityksellisesti haittaavaa ääntä taikka siihen rin- nastettavaa tärinää”. Toisaalta se määritellään myös ääneksi, jonka ihminen kokee epä- miellyttäväksi tai ei-toivotuksi. Tämän lisäksi melu koetaan yhdeksi päästönmuodoksi ja sen voimakkuus ilmoitetaan logaritmisella desibelin asteikolla. Sen rajaaminen tai mää- rittäminen on vaikeaa, sillä ääni, jonka toinen ihminen kokee miellyttäväksi, voi olla toi- selle tuskallinen kokemus. Melu jaotellaan altistumis ympäristön ja -tilanteen mukaan asumismeluksi, työpaikkameluksi, vapaa-ajan meluksi ja ympäristömeluksi. Rautatieliik- kenteestä aiheutuu ympäristömelua, jonka alalajina tarkastellaan tarkalleen liikenneme- lua. (VNp 993/1992)

Sekä melu että tärinä ovat aaltoliikettä, ja niiden etenemisessä ja vaikutuksilla on paljon yhteistä. Tärinä on tuntoaistillista kiinteän aineen värähtelyä alhaisilla taajuuksilla 1–200 Hz. Aistittava ääni etenee ilmassa taajuusalueella 16–16 000 Hz. Tärinä ja melu voivat myös muuttua toisikseen, sillä rakenteen värähdellessä se heijastaa samalla ääniaaltoja ympäristöön. Erityisesti runkoäänen erottaminen tärinästä on usein jopa mahdotonta. (Hakulinen 2011, s. 19)

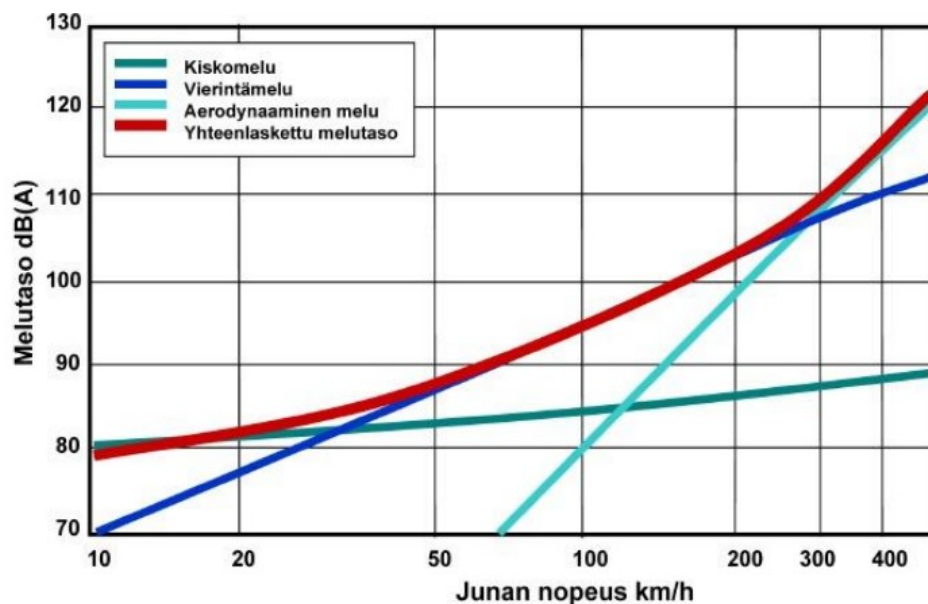
Äänen luonnetta voidaan vertailla äänenpainetason, äänitehotason, äänen taajuuden ja ää- nekkeystason avulla. Erilaiset ääni ja melulähteet eroavat taajuusjakaumaltaan, mikä osaltaan vaikuttaa aistimukseen. Jakaumat voidaan jakaa kolmeen erilaiseen tilanteeseen (kuva 4). Äänes koostuu ainoastaan yhdestä taajuudesta, jolloin kyseinen jakauma sisäl- tää vain tietyllä taajuudella sijaitsevan viivaspektrin. Jaksollinen ääni sisältää useampia kerrannaisia taajuuksia perustaajuuden lisäksi. Tällaista ääntä aiheuttaa monet musiikki- soittimet. Rautatieliikenteen tapauksessa muodostuu jaksotonta ääntä, sillä junissa on useita äänilähteitä samanaikaisesti. Taajuusjakauma on tällöin jatkuva sisältäen paljon erilaisia taajuuskomponentteja. (Tiihinen & Hänninen 1997)



Kuva 4. Erilaisten äänien taajuusjakaumat (Tiihinen & Hänninen 1997)

2.2.2 Raideliikenteen aiheuttama melu

Peltonen et al. (2013) toteavat, että raideliikenteen melu aiheutuu pyörien ja kiskon välillä syntyvästä värähtelystä, joka säteilee ilmaääneksi kiskojen, pyörien ja näiden rakenteiden välityksellä. Muita melua aiheuttavia tekijöitä ovat junan moottori ja kaluston oheislaitteet. Aerodynaaminen eli ilmanvirtauksesta aiheutuva melu ei ole tämän hetkisillä ajonopeuksilla merkittävä tekijä Suomessa, koska junien ajonopeudet ovat alle 200 km/h. Satunnaista melua aiheuttavat raiteiden epäjatkuvuuskohdat kiskon risteyksissä ja jatkoksissa, jolloin kyseessä on impulssimelu. Vähemmän merkittäviä melunlähteitä ovat kiskon ja pyörän välissä syntyvät värähtelyt kaarreajossa eli kaarrekirskunta, kaluston liikkeelleläähtöön liittyvä kiihdytys- sekä pysähtymiseen liittyvä jarrutusmelu, siltarakenteiden ylityksestä aiheutuva melu sekä tasoristeysten varoituskellot. Tämän lisäksi melua syntyy ratapihoilla ja varikoilla tapahtuvasta toiminnasta, kuten veturien äänimerkeistä ja kaluston huoltotoimista. (Soosalu & Innanen 2009)



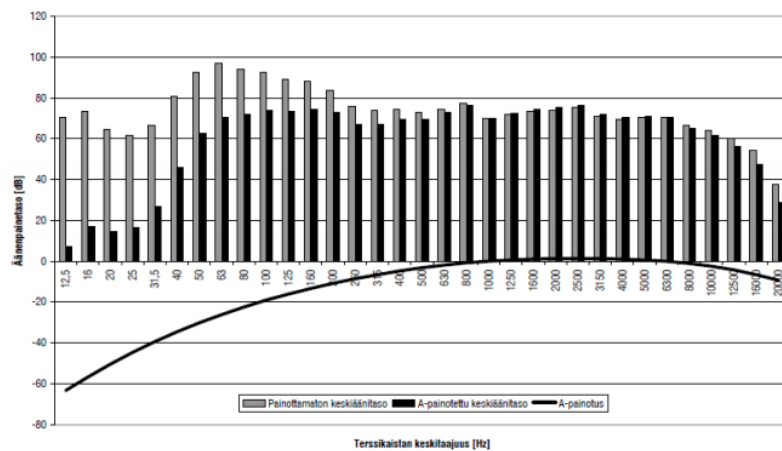
Kuva 5. Nopeuden kasvun vaikutus raideliikenteen melulähteisiin (Soosalu & Innanen 2009)

Melutaso nousee nopeuden kasvaessa kuvan 5 mukaan. Eniten melua aiheuttaa vierintämelu Suomen junien nopeuksilla. (Soosalu & Innanen 2009) Melulle on olemassa ohjearvot erikseen päivä- ja yöajalle. Päivääjan ohjearvona käytetään keskiäänitاسoa aikavälillä 7-22 ja yölle keskiäänitاسoa aikavälillä 22-7. Ohjearvot ilmoitetaan A-painotettuina keskiäänitasoina. (VNp 933/1992.) Melutasojen ohjearvoja on käsitelty tarkemmin luvussa 4.2.

Melua voidaan vertailla myös äänekkyystason avulla, jonka yksikkönä on fooni. Äänekkyystaso kuvaa ääniaistimuksen voimakkuutta. Normaalin ihmisen kuuloalue on välillä 20 – 20 000 Hz, jonka sisällä ihmisen korvan herkkyys kuitenkin vaihtelee eri taajuuksilla. Äänekkyystasoa vertaillessa herkimmillään kuulo on taajuusalueella 2 000 – 5 000 Hz. Tästä johtuen kuuloalueen pienemmillä ja suurimmilla taajuuksilla kuulokynnys on useita desibelejä korkeammalla kuin herkimmillä alueilla. Usein äänentاسoa arvioitaessa käytetty A-taajuuspainotus huomioi ihmisen herkkyuden äänille ja melulle. Taajuuspainotuksella tarkoitetaan periaatetta, joka esitellään kuvassa 6. Siinä äänenpainetason suuruutta vertaillessa huomioidaan eri taajuuskomponenttien osuus kokonaismäärästä. Ihmisen kuulokynnykseen soveltuu parhaiten A-taajuuspainotus (kuva 6). Siinä vaimennetaan matalia ja korkeimpia taajuuksia ihmisen kuulokynnystä mukaillen ja se on yleisemmin käytetty taajuuspainotus liikennemelua vertaillessa. Erilaisissa mittauksissa käytetään toisenlaisia painotuksia. B- ja C-painotusta käytetään työsuojelullisissa mittauksissa ja D-painotusta suihkukoneiden melumittauksissa. B- ja C-painotuksessa vaimennetaan vain todella matalilla taajuuksilla verrattuna A-painotukseen eli ne huomioivat tasaisemmin taajuusspektrin. (Tiihinen & Hänninen 1997; Vahtera 2011) Keskiäänitaso määritetään ajan mukaan vaihtelevasta A-painotetusta äänenpainesignaalista seuraavasti

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \lg \frac{1}{T} \cdot \int_T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt, \quad (1)$$

missä $p_A(t)$ = hetkellinen äänenpainesignaali, $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ ja T = mittausjakson pituus.



Kuva 6. Mitattu ja A-painotettu äänispektri (Kylliäinen 2006)

Rautatieliikenteen aiheuttaman melun voimakkuuteen vaikuttavat junakalusto, kiskojen ja kiskopyörien karheus, etäisyys radasta sekä junan nopeus. Melu jaotellaan rautatieliikenteessä neljään eri kategoriaan. Nämä ovat seisontamelu, liikkeellelähtömelu, ohiajomelu ja sisämelu vetureissa, junayksiköissä ja ohjausvaunuissa. Seisontamelu on melua, joka aiheutuu junan ollessa paikoillaan. Tällöin melun suuruuteen vaikuttavat erityisesti apulaitteet, kuten jäähdytysjärjestelmät, ilmastointi ja kompressorit. Ohiajomelu taas koostuu junan liikkuesssa. Ohiajomelun tutkimiseksi on tehtävä mittaukset raiteelta, jossa mitataan pysty- ja sivuttaissuuntainen vaimenemisnopeus standardin EN 15461 mukaisesti sekä raiteen akustinen karheus standardin EN 15610 mukaisesti. (Trafi 2011)

Rautatieliikennemelun erityispiirre on siinä, että se koostuu selvästi erillisistä ja hetkellisistä melutapahtumista verrattuna tieliikenteen meluun, joka on tasaisempaa syntyen useiden ajoneuvojen yhteisvaikutuksesta. Raideliikennemelu on laajakaistaista, mikä tarkoittaa sen sisältävän enemmän äänienergiaa korkeilla taajuuksilla kuin tieliikenteestä syntyvässä melussa. Toisaalta äänitasojen vertailussa käytetyn A-painotuksen vuoksi raideliikenteen matalataajuinen suodattuu pois tehokkaammin kuin tieliikenteestä, minkä vuoksi rautatiemelu usein koetaan vähemmän häiritsevänä kuin tieliikennemelu vertaillaessa samaa äänenpainetasoa. (Mikkonen & Tuominen 2001, Eurasto et al. 2011)

2.2.3 Melun leviäminen

Äänen leviämiseen rautatieliikenteestä vaikuttavat äänilähteen eli junan ominaisuudet sekä ympäristön ominaisuudet. Äänen luonteeseen kuuluu, että se heijastuu materiaalien rajapinnoista ja siroaa pieniin kappaleisiin osuessaan. Tämän lisäksi ääni voi taipua esteen taakse diffraktion vaikutuksesta sekä taittua materiaalien vaihtuessa. Rautatieliikenteen melun leviämiseen ja aistittavaan meluun vaikuttavat junakalusto, äänen kulureitti, etäisyys aistijaan, maan pinnan laatu, maastonmuodot, kasvillisuus, ilman absorptio sekä sää. Tämän lisäksi rakennusten eristerakenteet vaikuttavat melun suuruuteen sisätiloissa. (Tiihinen & Hänninen 1997, s. 21.)

Etäisyyden kasvaessa melu vaimenee, vaikka maasto olisikin tasainen. Ilman absorptio on energiahäviön aiheuttamaa ääniaallon heikkenemistä ilmassa edetessään. Sen suuruus riippuu lämpötilasta, etäisyydestä, äänen taajuussisällöstä sekä suhteellisesta kosteudesta. Absorptio on voimakkainta korkeilla taajuuksilla ja suurilla etäisyyksillä. Lähellä maata etenevän ääneen vaikuttaa maanpinnan heijastus. Heijastuessaan osa äänen aalloista vaimenee maahan ja osa taas heijastuu takaisin ilmaan. Vaimenemiseen vaikuttaa pinnan muodot ja laatu siten, että kova ja tasainen maaperä heijastaa paremmin ääntä kuin kumpuileva ja pehmeä maanpinta. Puusto vaimentaa melun leviämistä estevaikutuksellaan ja kasvit sekä lumipeite vaimentavat heijastumista imemällä ääniaallon energiaa. Runsaan kasvillisuuden alueella sironnan lisäksi sääolosuhteet voivat olla erilaiset esim. heikompi tuulisuus, mikä vaimentaa erityisesti korkeimpien taajuuksien melua. Kovat materiaalit, kuten kallio, vesi ja kiveykset, vahvistavat äänenpainetasoa suoran äänen ja heijastuksen yhdistyessä. (Tiihinen & Hänninen 1997, s. 22-25; Vahtera 2011)

Esteet vaimentavat osaltaan ja niiden ominaisuudet ovat samankaltaiset maanpinnan kanssa. Esteinä voivat toimia rakennukset, meluesteet sekä maastonmuodot. Sääolosuhteet, kuten tuulen nopeus ja suunta, ilman lämpötila sekä kosteuspitoisuus, vaikuttavat myös äänen etenemiseen. Lämpötilan kasvaessa äänen etenemisnopeus kasvaa, mikä lisää taittumista. Etenkin lämpimän ja kylmän ilmamassan taitteessa melu taittuu voimakkaimmin kylmää kohti. (Tiihinen & Hänninen 1997, s. 26; Vahtera 2011)

2.3 Tärinä

Tärinä on värähtelyä kiinteässä kappaleessa. Rautatieliikenteen tapauksessa se on maan aaltoliikettä, joka saa alkunsa energianlähteestä eli liikenteestä. Tärinän leviäminen riippuu maa- tai kallioperän geologisista olosuhteista, kuten laadusta ja kerrostuneisuudesta. Tärinän leviäminen on voimakkainta pehmeässä ja kosteassa maassa, kuten savessa, siltissä, liejussa ja turpeessa. (Levomäki 1999)

Yleisesti junaliikennetärinän tarkastelu voidaan jakaa neljään osaan: Ensin tapahtuu tärinäherätteen syntyminen, jonka jälkeen tärinä leviää kiinteässä aineessa. Levitessään tärinä vaimenee rakennusten ja rakennneosien vasteesta. Lopuksi ihminen aistii jäljelle jääneen tärinävaikutuksen. Rautatieliikenteen aiheuttaman tärinän syyksi oletetaan pehmeä maaperä, kaluston massa sekä dynaaminen kuorma, jonka aiheuttaa lovipyörä tai raiteen virheet. (Talja & Saarinen 2009)

2.3.1 Juna tärinälähteenä

Juna aiheuttaa kuormituksen liikkueessaan, ja siitä syntyy tärinä. Näille ei ole kuitenkaan olemassa yksiselitteistä siirtofunktiota, sillä kuormitus ei ole pistemäistä eikä välittyminen maapohjaan täytä systeeminä lineaarisuusvaatimuksia. Junan synnyttämä kokonaiskuormitus voidaan jakaa staattiseen kuormaan ja dynaamiseen lisäkuormitukseen. Henkilöjunien staattiset akselipainot vaihtelevat 110 ja 140 kN:n välillä, kun taas tavarajunien akselipainot vaihtelevat 65 ja 225 kN:n välillä. (Levomäki 1999, s. 10)

Levomäen (1999) mukaan staattisen kuormituksen lisäksi kokonaiskuormaan lasketaan mukaan dynaaminen lisäkuorma, jonka suuruus on huomattava myös tasaisilla ja hyväkuntoisilla radoilla. Dynaaminen kuorma aiheutuu pyörän ja raiteen välisistä voimista. Dynaamisia voimia syntyy epäjatkuvuuskohdissa, kuten vaihteissa, kiskonjatkeissa ja pyörän tai kiskon viallisissa kohdissa. Näissä kohdissa syntyy pystykuorman paikallinen sysäys ja sen suuruus riippuu ensisijaisesti pyörään kohdistuvan pystykiihtyvyyden ja akselin joustamattoman massan suuruudesta. Epätasaisuudet kiskossa voivat nostaa pyöräkuorman hetkellisesti jopa kolminkertaiseksi staattiseen kuormaan verrattuna. Myös pyörän vikojen voimasysäykset voivat olla yhtä suuria staattisen kuorman kanssa. Dynaamista kuormaa suurentaa radan routautuminen, sillä radan jäykkyys kasvaa ja iskut voimistuvat verrattuna sulaan maahan. (Levomäki 1999)

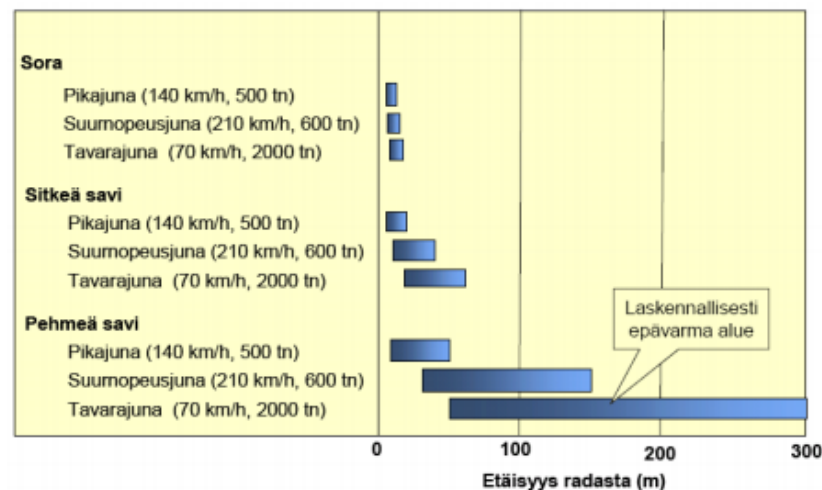
Voimasysäyksen kestolla on myös vaikutuksensa tärinän voimakkuuteen. Pidemmät voimasysäykset aikaansaavat ratapenkereen ja maapohjan lähivyöhykkeen kiihtyvyyksiin keskimääräisiä suurempia huippuarvoja. Pyörän lovikohta voi nostaa penkereeseen kohdistuvan kiihtyvyyden moninkertaiseksi verrattuna hyväkuntoiseen pyörään. Tärinähuipun vaikutusetäisyys taas johtuu amplitudista, taajuudesta ja maapohjan ominaisuuksista. Raiteen aaltoileva muoto aiheutuu raiteen taivutusjäykkyyden vaihtelusta ja kiskon pinnan kulumisesta. Tämän lisäksi junan vauhdin hidastuessa jarrutuksessa dynaaminen lisäkuorma kasvaa. Tavarajunilla jarrutuksen aikana syntyy suurempia vaihteluita pyöräkuormissa kuin henkilöjunissa jarrujärjestelmän jousituksen karkeamman toiminnan vuoksi. (Levomäki 1999)

Akselikuormat aiheuttavat paikalla ollessaan rataa painumia. Liikkuessaan junan painumaviiva voidaan arvioida akselikuormien suuruuden ja sijainnin perusteella. Junan nopeudesta riippumatta jännitys- ja muodonmuutoskenttä pysyy vakiona junan liikkeen suhteen, mutta maassa kiinteässä pisteessä, kuten rakennuksessa, nämä muuttavat nopeuden suhteen. Junakuorma kuormittaa radan rakennetta nauhamaisena joukkona akselikuormilla. Maan jännityksiin ja värähtelyn taajuuksiin vaikuttavat akselien ja telien väliset etäisyydet sekä ajonopeus. Tavarajunissa telijako ja akselimäärät vaihtelevat, joten niillä on useita taajuuksia verrattain henkilöjuniin. Kiinteän pisteen ohittaessaan telit aiheuttavat ohitustaajuudeksi kutsutun ilmiön. Kyseinen tärinäheräte etenee erityisen hyvin savessa. Ohitustaajuudet ovat matalia henkilöjunien ja hitaahkojen tavarajunien tapauksessa. Ohitustaajuus vaihtelee välillä 1,1 – 5,3 Hz, jotka usein sisältävät pehmeän maakerroksen alimman ominaistaajuuden. Tärinäherätteen kesto taas vaihtelee junan pituuden ja nopeuden mukaan. Nopeimmilla henkilöjunilla ohituksen kesto on noin 4 – 8 s, kun tavarajunilla aika vaihtelee välillä 10 – 45 s. Tavarajunien ohituksen pitkän keston vuoksi voi aiheutua resonointia, jolloin värähtely voimistuu suureksi saman taajuuksien värähtelyiden osuessa kohdakkain. (Levomäki 1999, s. 11-12)

2.3.2 Tärinän leviäminen maassa

Värähtely maassa ilmenee neljänä erilaisena aaltotyyppinä, jotka ovat puristusaalto, leikkausaalto sekä Rayleigh- ja Loven pinta-aallot. Puristusaalto tapahtuu junan etenemissuunnassa ja leikkausaalto liikettä vastaan kohtisuorassa. Rayleigh aalto on maan pinnalla etenevää ellipsin muotoista pyörimisliikettä. Loven aalto aiheuttaa vaakasuoraista leikkausta ja se esiintyy ainoastaan kerroksellisissa maaperissä. Tärinälähteen lähellä esiintyy kaikkia aaltotyyppejä, mutta etäisyyden kasvaessa suurin osa aaltoenergiasta on R-aaltoa. Tärinän aaltojen leviämiseen vaikuttaa maaperän laatu, pehmeiden maakerrosten paksuus ja maaperän kerroksellisuus. Tärinän vaikutuksia arvioidaan yleensä heilahdusnopeutta (mm/s) vertaamalla. Tärinää arvioidaan myös etenemisnopeuden, heilahduskiihtyvyyden ja taajuuden voimakkuuden avulla. (Levomäki 1999, s. 15; Talja 2004; Auvinen 2010, s. 13)

Tärinän eteneminen vaihtelee eri maalajeilla nopeuden ja vaimenemisen suhteen. Tärinä levittäytyy erityisen laajalle pehmeissä maalajeissa. (kuva 7) Saven ja siltin lisäksi tärinä voi levitä pitkälle eloperäisissä materiaaleissa kuten turpeessa ja liejussa. Tämä johtuu junaliikenteen aiheuttamasta värähtelystä, joka osuu savimaiden värähtelyn ominaisuuksuudelle, jolloin tapahtuu resonanssia. Materiaalin kitka on toinen ominaisuus, mikä vaikuttaa leviämiseen. Saven kitka on pienempi kuin karkeilla maalajeilla, joten tärinä ei muunnu kitkan ylitsepääsemiseksi lämpöenergiaksi edetessään. Kovissa maalajeissa vaikutusalue on pienempi, sillä korkeataajuiset suodattuvat nopeasti pois ja jäljelle jää vain matalat taajuudet vaimenemisen seurauksena. Koviin maalajeihin tässä tapauksessa lasketaan karkearakeiset sora ja hiekka, siltti-, hiekka- ja sora-moreenit sekä kallioma. Pohjavesi yleensä vahvistaa tärinän vaikutuksia pehmeissä maalajeissa, kun taas karkeissa vaikutus on usein päinvastainen. Pehmeillä maalajeilla routiintuminen lisää entisestään tärinän vaikutuksia aiheuttamalla radan rakenteen muotopoikkeamia sekä jäykkyyseroja. (Talja 2004)



Kuva 7. Junien ja maalajien aiheuttamat haitalliset tärinä alueet (Talja 2004)

Tärinäaallon kohdatessa kahden maalajin rajapinnan, kuten saven ja soran tapahtuu aallon heijastumista ja taittumista. Tärinän ominaisuuksiin kuuluu sen taipumus heijastua eri maalajien rajapinnoista. Tämä huomataan rautateiden läheisyydessä siten, että samaan tarkastelupisteeseen voi tulla useita eri nopeuksilla ja kohteista kulkeutuneita aaltoja. Kun lähde on eri, voivat tärinät vahvistaa tai heikentää toisiaan. Haitallisimmat vaikutukset ovat tapauksissa, joissa tiivismaakerros tai kallio viettää. (Talja 2004)

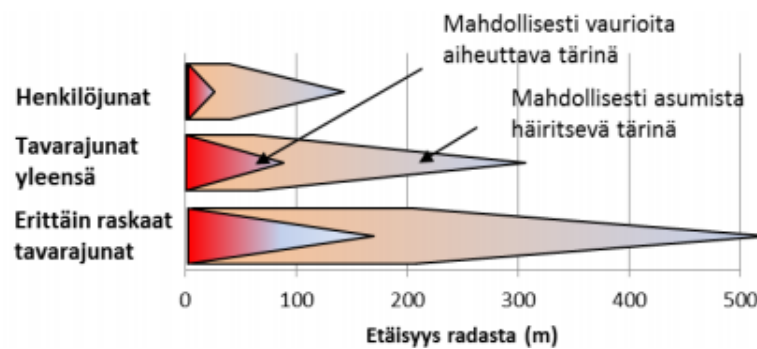
Tärinä näkyy pintojen heilahduksina ja tämän määrittämiseksi on kehitetty laskentamalli, joka sopii suomalaiseen junaliikenteeseen. Se perustuu pääosin Norjassa kehitettyyn enustemalliin Madshusin malliin, joka pohjautuu tunnettuihin fysikaalisiin lainalaisuuksiin sekä tärinämittausten tuloksiin. Kaava huomioi junatyyppin, junan nopeuden, junan painon, radan kunnon, pohjasuhteet sekä rakennuksen tyyppin ja sen tulokseksi saadaan pystysuora heilahdusnopeus v_B (mm/s). Kaavassa käytetään erinäisiä kertoimia kunkin

muuttujan kohdalla. Tulokset ovat sitä tarkempia, mitä enemmän sen yhteydessä käytetään mittaustuloksia. Kyseinen malli on esitetty kaavassa 2 (Törnqvist & Nuutilainen 2002, s. 16)

$$v_B = v_0 \cdot k_D \cdot k_S \cdot k_G \cdot k_R \cdot k_B \cdot A, \quad (2)$$

missä k_D on etäisyyskerroin, k_S junan nopeudesta riippuva kerroin, k_G junan painosta riippuva kerroin, k_R radan kunnosta riippuva kerroin ja k_B tärinän vahvistumiskerroin rakennuksessa.

Laskettu tulos v_B on laskennallinen tärinän pystyheilahdusnopeus rakennuksessa tai halutussa tarkastelupisteessä. Perusyhtälön viimeinen termi A on arviointiriskikerroin, jota käytetään aluerajausten tekemisessä. Termin arvona käytetään 1:stä, kun rajausten tekemisessä käytetään hyväksi tärinän mittauksia. Jos mittauksia ei ole tehty, A on 2. Laskentamallien ja mittausten avulla on tehty arvio etäisyyksistä, joissa tärinä voi aiheuttaa häiriötä. (Törnqvist & Nuutilainen 2002, s. 16; Talja & Törnqvist 2014)



Kuva 8. Suuntaa antavia etäisyyksistä, jolla tärinä voi häiritä ihmistä (Talja & Törnqvist 2014, s. 6)

Kuvassa 8 esitellään arvio suurimmista etäisyyksistä, jolla rautatieliikenteen junakalustot voivat aiheuttaa vauriota rakennuksiin ja häiritä asumisen mukavuutta pehmeillä savi-maa-alueilla. Kuvan 8 kiilamainen alue kuvaa laskennallisesti epävarmaa aluetta, johon vaikuttaa voimakkaasti ympäristön paikalliset ominaisuudet, kuten maaperä ja rakennuksen runkorakenteet. (Talja & Törnqvist 2014)

2.4 Runkomelu

Runkoäänellä tarkoitetaan maaperän kautta rakennukseen siirtyvää värähtelyä, joka muuttuu ääneksi. Raideliikenteen runkomelu syntyy tärinän tavoin pyörän ja kiskon kosketuksesta. Näiden kosketuksesta värähtely välittyy rautatien alusrakenteen ja kovan maaperän kautta rakennusten perustuksiin. Siitä eteenpäin runkoääni etenee rakennuksen kantavien rakenteiden kautta asuintilojen seinä- ja yläpohjarakenteisiin. Seinien, väli- ja yläpohjien värähtely synnyttää huonetilan pinnoista äänen säteilyä. Säteily etenee ilmassa paineaaltoina, jotka ovat aistittavissa äänenä. Runkomelu on voimakkuudeltaan niin

pientä, ettei siitä aiheudu vaaraa rakenteille eikä sitä voi havaita rakennuksen tärinänä. (Talja & Saarinen 2009 s. 14-15)

Runkomelun taajuusalue on 16 – 250 Hz. Melun kannalta merkittävimmät taajuudet ovat yleensä alle 100 Hz. Jos rakennus on yhteydessä kovaan maaperään kuten kallioon tai sijaitsee hyvin lähellä rautatietä, voi välittyä yli 250 Hz:n häiritseviä ääniä. Runkomeluhaista on yleensä suurin, kun rautatien alusrakenne ja rakennuksen perustukset ulottuvat suoraan peruskallioon tai kovaan kitkamaahan. Maanalainen junaliikenne, kuten metroliikenne, on perustettu kovaan kallioon, jolloin liikenteestä aiheutuva runkoääni on voimakasta. Tästä johtuen se koetaan usein häiritsevämmäksi kuin maanpäällisestä liikenteestä aiheutuva runkomelu. Runkoääni ilmenee pienitaajuisena kumuna, joka muistuttaa kaukana olevan ukkosen aiheuttamaa jylinää. Suurin runkomelun haitta on yöunen laadun heikkeneminen. (Talja & Saarinen 2009, s. 15)

3. VAIKUTUKSET IHMISEEN

3.1 Tärinä

VTT:n arvion mukaan raideliikennetärinälle altistuu noin 150 000 – 200 000 asukasta. Tärinän kannalta ongelmallisimpia rataosuuksia ovat Turku – Toijala-, Oulu – Vartius - sekä Riihimäki – Vainikkala-radat. Lisäksi tärinän kannalta vaikeita rataosuuksia ovat myös Kerava – Sköldvik-, Kokkola – Oulu- sekä Raahe – Oulu-radat. Näillä osuuksilla tärinän vaikutukset voidaan jakaa kahtia rakennuksessa aistittavaan tärinään tai värähtelyn aiheuttamiin terveydellisiin haittoihin ja pelkona kiinteistön arvon alenemiseen tai rakenneaurioihin. (Ratahallintokeskus 2006, s. 15)

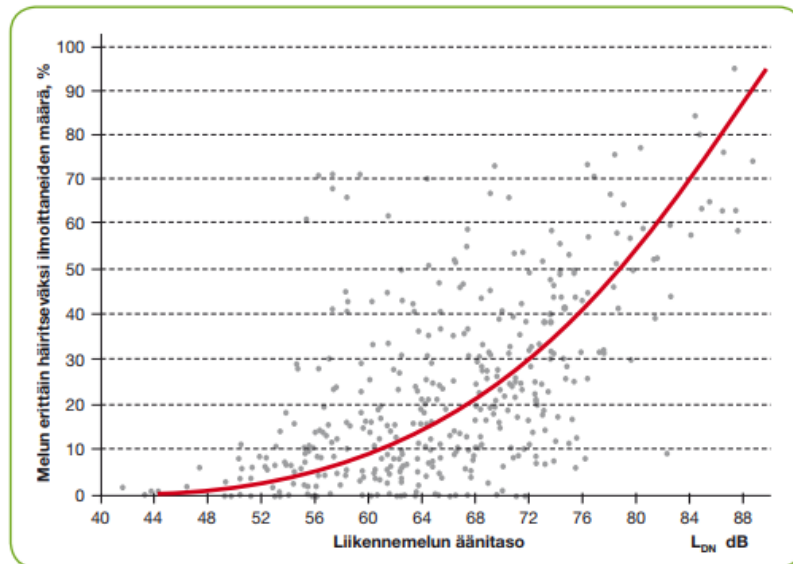
Nykyisin kiinnitetään entistä enemmän huomiota ihmisiä häiritseväksi koettuun tärinään. Ihmisen monet kehon osat ovat herkkiä värähtelylle. Erityisen häiritsevään on matalataajuinen tärinä, sillä se vaikuttaa koko kehoon. Melko huomattavankaan tärinän havaintokynnyksen, noin 0,01...0,02 mm/s, ylittyminen ei lyhytaikaisesti aiheuta terveydellisiä vaikutuksia ja täten vaikuta viihtyvyyteen. Voimakas, liikennetärinää korkeampi tärinä voi nostaa verenpainetta ja sydämen lyönti- ja hengitystiheyttä. Alhainen tärinä voi aiheuttaa keskittymishäiriöitä tai yleistä väsymystä. (Hakulinen 2011, s. 11)

Junaliikenteestä aiheutuvat alhaiset taajuudet ja amplitudit eivät yleensä aiheuta fyysisiä vaurioita ihmiskehoon tai pahoinvointia. Tärinän taajuuden osuessa kehon resonanssitaajuudelle saattaa aiheutua epämukavuuden tunnetta. Tärinän kannalta huonoimmilla maaperillä ja rautatien läheisyydessä haittana on asumismukavuuden aleneminen ihmisen huomatessaan tärinän esimerkiksi aiheuttavan matalataajuisia ikkunoiden helinää tai kodin pintojen värähtelyä. Öisin liikkuvat tavarajunat aiheuttavat unihäiriöitä. Tämä näkyy siten, että ihminen heräilee ja liikkuu tavallista enemmän yön aikana eikä saa levähtyä normaalisti. Unihäiriöiden tai päivällä tapahtuvan tärinän vaikutuksesta ihmisen keskittymiskyvyn on tutkittu häiriintyvän. Tärinän ja melun yhteisvaikutus voi aiheuttaa usein pelkoa rakenneaurioista kiinteistöissä. Toisaalta mahdollinen pelko kiinteistön arvon alenemisestä lisää stressin kehittymistä. (Talja 2004, s. 11; Auvinen 2010, s. 25)

Koska ihmiset oleskellessaan tai töitä tehdessään tukeutuvat lattiaan, ihmiset kokevat tärinän lattian kautta kehossaan. Toisaalta, jos tärinä jatkuu seiniin, ihminen aistii myös seinän kautta mutta sen häiritsevyys ja yleisyys on yleensä harvinaista. Pöytien ja kalusteiden täristessä voidaan olettaa tärinän kulkeutuvan aina lattian kautta. (Hakulinen 2011)

3.2 Melu

Melu vähentää viihtyisyyttä, sillä ihmiset kokevat sen epämiellyttävänä ja häiritseväenä. Melun vaikutuksia ihmiseen on tutkittu laajasti läpi historian mutta toimet ympäristömelun minimoimiseksi olivat pitkään pieniä. Melulla on vaikutuksia moniin eri aisteihin riippuen, kuinka pitkään ja millä voimakkuudella sille altistuu. Lyhyt kestoinen melu koetaan vain haitallisena viihtyvyyteen. Ihmisen altistuessa melulle pitkään puhutaan kuitenkin terveydellisistä vaikutuksista. Yksilöiden välillä äänien aistimisessa on vaihtelua perustuen siihen, että jokaisen fysiologiset ominaisuudet eroavat. Fysiologiset erot johtuvat perimästä ja ympäristötekijöiden vuorovaikutuksesta eikä näitä vielä tarkasti tunneta. Rautatieliikenne melulle altistuu 43 000 – 53 000 henkilöä päivittäin. Melun kokemiseen vaikuttaa myös melun lähde, laatu, voimakkuus, kesto, jatkuvuus, hallittavuus, ja merkityssisältö. (Jauhiainen et al. 2007)

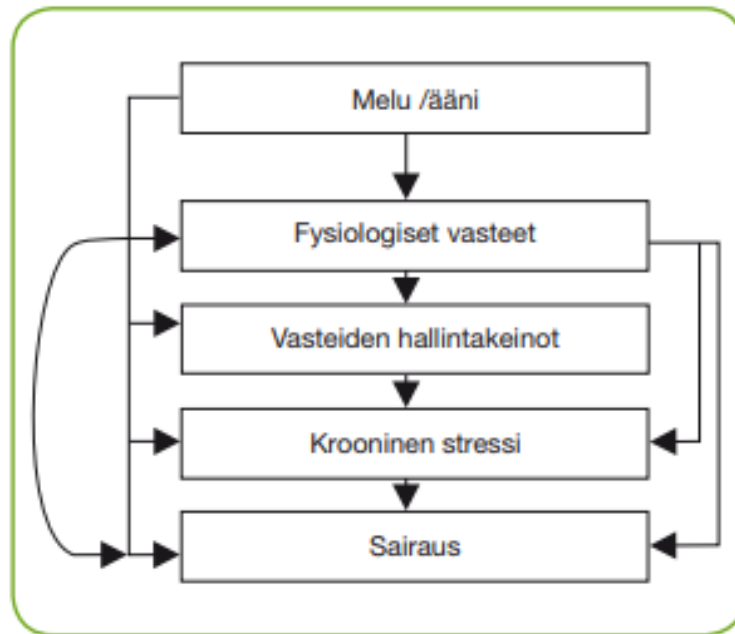


Kuva 9. Liikennemelun erittäin häiritseväksi koettu desibelitaso (Jauhiainen et al. 2007)

Kuvasta 9 näkee, ettei kaikkia ihmisiä koskevaa rajaa ole melun häiritsevyyden kokemisessa. Melun häiritsevyys kasvaa progressiivisesti melutason noustessa. Ihmiset alkavat kokea melun erittäin häiritseväksi sen jälkeen, kun melutaso ylittää 50 desibeliä. Melun ylittäessä 80 desibeliä noin 2/3 kokee jo melun häiritseväksi kyseisen tutkimuksen mukaan. Tällöin kuitenkin paikka ja aika vaikuttavat kokemiseen, sillä aina ei voida rajata tutkittavaa melua muista erilleen vaan kyseessä on ympäristön kokonaismelutaso. Vertaillen tie-, lento- ja raideliikennettä häiritsevyyden perusteella huomataan lentoliikenteen koettavan häiritsevämpänä kuin tieliikenne äänenpainetason ollessa sama. Toisaalta tieliikenne koetaan taas häiritsevämpänä kuin raideliikenne. (Jauhiainen et al. 2007)

Ääni välittyy ihmiseen kuuloaistimuksena korvassa. Siitä melu etenee keskushermoston kautta autonomisiin, motorisiin ja kognitiivisiin keskuksiin, jotka ohjaavat erinäisiä elin-

toimintoja. Rautatieliikenteen ollessa häiritsevää sitä kutsutaan ympäristön stressitekijäksi, joka muuttuu stressiksi ihmisen kokiessa, ettei pysty vaikuttamaan meluun tai sen lähteeseen. Stressireaktioon kuuluu herkistyminen kyseiselle ärsykkeelle, jolloin ihmisen valpastumisvaste ei totu ja huomio kiinnittyy ärsykkeeseen. Melun häiritsevyys voi lisätä stressiä ja siitä seuraavia terveysvaikutuksia kuvan 10 mukaisesti. (Jauhiainen et al. 2007; Haahla & Heinonen-Guzejev 2012)

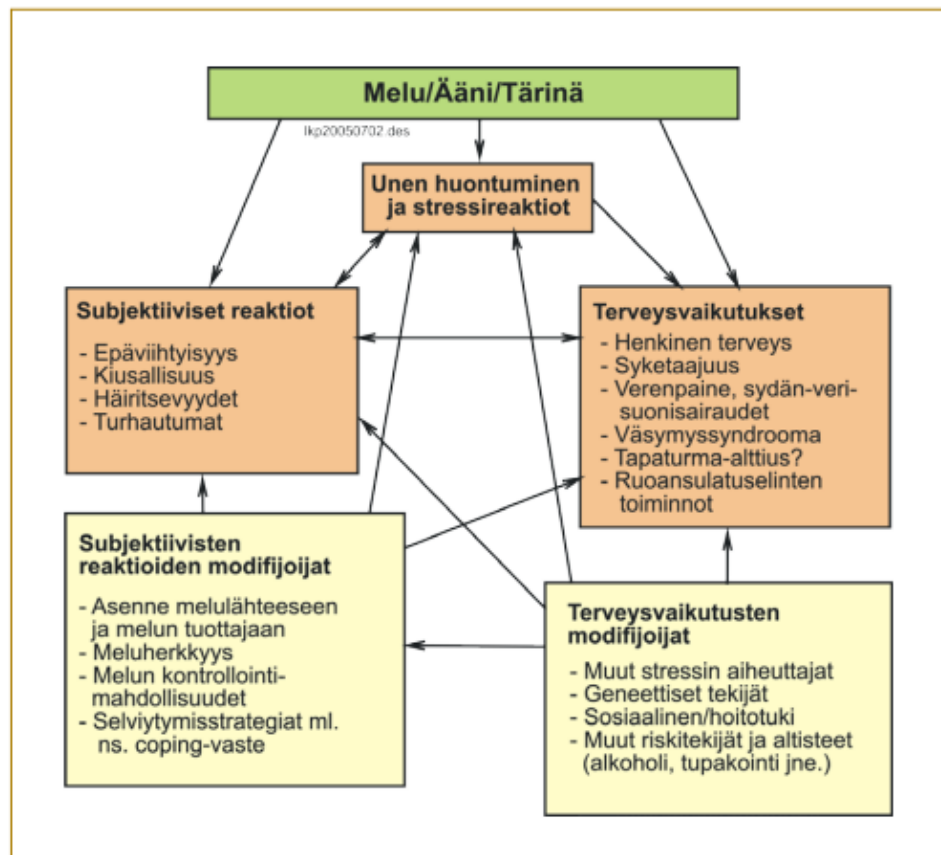


Kuva 10. Stressin kehittyminen ketjuna (Jauhiainen et al. 2007)

Liikennemelu voi pahimmassa tapauksessa vaikuttaa kuuloon, jos altistuu sille vuorokauden ympäri. Melu vaikuttaa tärinän tavoin uneen sekä keskittymiskykyyn. Unenhäiriöt voidaan jakaa välillisiin ja välittömiin haittoihin. Välittömiä ovat nukahtamisvaikeudet, unen vaiheen ja laadun muutokset, heräämiset öisin ja kehon liikkeiden lisääntyminen unen aikana. Välillisiin lasketaan uneliaisuus ja suorituskyvyn heikkeneminen päivisin. Rautatiemelua hankaloittaa vähissä määrin puheviestintää ja havaintotoimintoja. Epäsuorasti on selvitetty, että melu lisää aggressiivisuutta ja vähentää auttamishalua. Häiritsevyys lisää myös verisuonitautien todennäköisyyttä, sillä stressihormonien lisääntyessä melu aiheuttaa kohonnutta verenpainetta. Jos melulähde toistuu eikä sitä kyetä vaimentamaan, verenpaineen nousu voi jäädä pysyväksi. Liikennemelu alttius on yksi riskitekijöistä sepelvaltimotauteihin. (Talja 2004; Pesonen 2014)

Sekä melu että tärinä vaikuttavat ihmisiin usein samanaikaisesti, vaikka tie ihmiseen käy eri reittejä. Niitä on keskenään vaikea erottaa irrallleen toisistaan, jolloin vaikutukset ovat pitkälti yhteisvaikutuksia. Kuvassa 11 on esitetty kootusti erilaiset haitat ja niihin vaikuttavat tekijät. Vaikutukset jaetaan subjektiivisiin reaktioihin ja terveysvaikutuksiin. Näi-

den suuruuteen vaikuttaa erinäiset modifioijat, kuten asenne melulähteeseen sekä perinnölliset tekijät. (Pesonen 2014)



Kuva 11. Melun sekä värinän syyseurausmalli (Pesonen 2014)

4. MELUN JA TÄRINÄN HUOMIOMINEN SUUNNITTELUSSA

4.1 Mittaaminen

Ympäristömelua mitattaessa käytetään äänitasomittareita, joilla pystytään mittaamaan keskiäänitaso sekä melun enimmäistasot. Näiden arvojen lisäksi liikennemelua mitattaessa tehdään tilastollisia analyysejä esiintyneistä äänitasoista. Rautatieliikenteen aiheuttaman melun mittaamisessa käytetään yleisesti Trafin (2011) määräyksen mukaisia toimenpiteitä. (Äänitasomittari 2019)

Rautatien liikennetärinän mittaamiseen käytetään useita tärinämittareita. Eräänä esimerkkinä on nelikanavainen tärinämittari UVS 1500. Kyseisessä niin kuin useimmissa muisakin tärinämittareissa on neljäkanavaa, joista yksi on varattu mikrofonille ja kolme on varattu tärinän voimakkuuden mittaukseen. Mittausta kutsutaan kolmikomponenttimittaukseksi, koska tuloksena saadaan junien heilahdusnopeuksien eli värähtelyn huippuarvot v_{max} (mm/s) pystysuunnassa, rataa vastaan kohtisuorassa suunnassa ja radan suunnassa. Liikennetärinän tapauksessa mittauksessa käytettävien antureiden taajuusalue on 1 – 100 Hz. (Luoma et al. 2000) Tärinää voidaan mitata myös perinteisillä kiihtyvyysantureilla, jotka esimerkiksi upotetaan maahan kulmarautakappaleeseen kiinnitettynä radan ympärille halutuille etäisyyksille. Nämä anturit mittaavat heilahdusnopeutta kolmessa eri suunnassa. Tärinämittauksien tuloksia voidaan vertailla heilahdusnopeuden, kiihtyvyyden, taajuuden ja siirtymien kesken (Leppänen 2008)



Kuva 12. Tärinän mittauksessa käytetty kulmarauta ja kiihtyvyysanturit (Leppänen 2008)

4.2 Melustandardit

Melulle on olemassa Valtioneuvoston päätös ohjearvoista (993/1992), joita ”sovelletaan meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyisyyden turvaamiseksi maankäytön, liikenteen ja rakentamisen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyissä”. Siinä on määritetty sekä ulkona että sisällä sallitut melun A-painotetun ekvivalenttitaso päivisin ja öisin.

Taulukko 1. Melun ohjearvot rakennusten ulko- ja sisäpuolella (VNp 993/1992).

	Melun ekvivalenttitaso L_{Aeq} , dB	
	Päivällä klo 7-22	Yöllä klo 22-7
Ulkona		
Asumiseen käytettävät alueet, virkistysalueet taajamissa ja niiden välittömässä läheisyydessä sekä hoito- tai oppilaitoksia palvelevat alueet	55	45-50 ^{*)**)}
Loma-asumiseen käytettävät alueet, leirintäalueet, virkistysalueet taajamien ulkopuolella ja luonnonsuojelualueet	45	40 ^{***)}
Sisällä		
Asuin-, potilas- ja majoitushuoneet	35	30
Opetus- ja kokoontumistilat	35	-
Liike- ja toimistohuoneet	45	-

*) Uusilla alueilla melutason yöohjearvo 45 dB.

**) Oppilaitoksia palvelevilla alueilla ei sovelleta yöohjearvoa.

***) Yöohjearvoa ei sovelleta sellaisilla luonnonsuojelualueilla, joita ei yleisesti käytetä oleskeluun tai luonnon havainnointiin yöllä.

Melun luonteen ollessa iskumaista tai kapeakaistaista mittaus- tai laskentatulokseen lisätään 5 dB ennen vertaamista taulukossa 1 esitettyihin ohjearvoihin. Melutasoja verrataan ohjearvoihin melulähderyhmittäin. Taulukon 1 arvot ovat A-painotettuja keskiäänitasoja. Yli 55 dB:n raideliikenne melulle altistuu kuitenkin 43 000- 53 000 henkilöä päivittäin. Öisin vastaava määrä on hieman pienempi. (Liikonen & Leppänen 2005)

Meluntorjunnasta on olemassa myös Valtioneuvoston periaatepäätös, jossa todetaan, ettei uusia rakennuksia tai suojelua vaativia kohteita saa rakentaa ilman riittävää meluntorjuntaa. Ensisijaisesti pyritään sijoittamaan kohteet riittävän etäälle tärinälähteestä. Päätöksessä todetaan myös, että kaavoituksessa huomioidaan luonnon virkistyskäytön ja matkailun tarpeisiin jäävät alueet ja varmistetaan näiden alueiden meluntorjunta. (Ympäristöministeriö 2007) Toisaalta maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaan meluntorjuntaa on hoidettava riittävällä tasolla ja ottamaan se huomioon jo kaavoituksessa.

4.3 Tärinän ohjearvot

Suomessa ei ole virallisia raja-arvoja liikennetärinälle, joka kohdistuu ihmisiin. Ympäristönsuojelulain (527/2014) tavoitteena on ehkäistä ympäristön pilaantumista, joka aiheutuu ihmisen toiminnasta. Laki koskettaa tärinän päästämistä tai jättämistä ympäristöön, jos siitä on haittaa ihmisen terveyttä tai se heikentää yleistä viihtyvyyttä. Tämän periaatteena on haitallisten ympäristövaikutusten ennaltaehkäiseminen tai rajoittaminen mahdollisimman vähäisiksi. (Ympäristönsuojelulaki 527/2014) Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B3 mukaan ennen rakentamisen aloittamista on selvitettävä, ettei liikennetärinä aiheuta ihmisille suurta häiriötä (YM. 2004). Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) perusteella annetussa Maankäyttö- ja rakennusasetuksessa (895/1999) edellytetään kaavoitusta laadittaessa ottamaan huomioon vaikutukset alueen asukkaiden elinoloihin ja ympäristöön.

Liikenneviraston (2015) mukaan Suomessa on tärinästä johtuvia rautatieliikenteen nopeusrajoituksia käytössä tällä hetkellä 18 eri puolella Suomea. Rajoitukset koskevat lähinnä yli 3000 tonnin painon ylittäviä junia. Rautateillä nopeusrajoitus ei kuitenkaan ole liikenteen sujuvuuden kannalta hyvä ratkaisu, joten ne vaativat kovat perusteet, kuten suuren asutuksen ja altistuvien ihmisten läheisyyden. (Liikennevirasto 2015, s. 37)

Suomessa sovelletaan rautateiden ympäristössä tärinän mittauskäytäntöjä, jonka perusteella voidaan arvioida tärinän aiheuttamaa ihmisen kokemaa häiriötä. Tärinän ohjearvot perustuvat heilahdusnopeuden taajuuspainotetun tehollisarvon mittaamisen perusteella tilastollisesti määritettyyn värähtelyn tunnuslukuun $v_{w,95}$, mikä esitetään taulukossa 2. Suositus perustuu alun perin Norjan standardissa NS 8176 esitettyyn suositukseen rakennusten värähtelyluokituksista liikennetärinälle. Standardin mukaan tunnusluvun tulee edustaa 95 %:n todennäköisyydellä kaikkia väylän liikennevälineitä. Junaliikenteen tapauksessa yli 30 % tutkimuspitempien ylittävistä junista tulee olla suurimman tärinän aiheuttajia eli raskaita tavarajunia. (Talja 2004; Kaaresoja 2007)

Taulukko 2. Suositus rakennusten värähtelyluokituksesta (NS 8176 1999, Talja 2004 mukaan)

Värähtely-luokka	Kuvaus värähtelyolosuhteista	$v_{w,95}$ [mm/s]
A	Hyvät asuinolosuhteet. <i>Ihmiset eivät yleensä havaitse värähtelyitä.</i>	$\leq 0,10$
B	Suhteellisen hyvät olosuhteet. <i>Ihmiset voivat havaita värähtelyä, mutta ne eivät ole häiritseviä.</i>	$\leq 0,15$
C	Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa. <i>Keskimäärin 15 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöistä</i>	$\leq 0,30$
D	Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla. <i>Keskimäärin 25 % asukkaista pitää värähtelyitä häiritsevinä ja voi valittaa häiriöistä</i>	$\leq 0,60$

Suosituksen mukaisesti asunnot ovat jaettavissa eri luokkiin, joissa tärinän tunnusluku v_w on tiettyjen raja-arvojen sisällä. Nykyään rakennettavat uudet asuinalueet tulisi rakentaa vähintään värähtelyluokan C mukaisin raja-arvoin. Vanhemmilla asuinalueilla pyritään alittamaan D-luokan korkeammat raja-arvot. Rajat ovat hyvin lähellä muiden maiden suosituksia ja normeja, jotka on esitetty taulukossa 3. Siihen on koottu Saksan [DIN 4150, 1999], USA:n [FRA 1998], Ruotsin [Banverket 1997] ja Norjan [NS 8176, 1999] suositukset koottu samaan taulukkoon. (Talja 2004; Auvinen 2010)

Taulukko 3. Eri maiden suosituksia tärinän ohjearvoiksi (Talja 2004)

v_w [mm/s]	Soveltamisalue, häiriölähde ja viite
$\leq 1,0$	Vanhat rata- ja asuinalueet, junat [Banverket 1997]
$\leq 0,6$	<i>Olosuhteet, joihin pyritään vanhoilla asuinalueilla, kisko- ja tieliikenne</i> [NS 8176, 1999]
$\leq 0,6$	Uudet teollisuusalueet, kisko- ja tieliikenne [DIN 4150-2, 1999]
$\leq 0,6$	Maanpäällinen kiskoliikenne vanhoilla asuinalueilla [DIN 4150-2, 1999] ¹⁾
$\leq 0,4$	Uudet asuinalueet ja peruskorjattavat väylät, junat [Banverket 1997]
$\leq 0,36$	Uudet toimistoalueet, junat [FRA 1998]
$\leq 0,3$	<i>Suositus uusien rakennusten ja väylien suunnittelussa, kisko- ja tieliikenne</i> [NS 8176, 1999]
$\leq 0,3$	Uudet seka-alueet, kisko- ja tieliikenne [DIN 4150-2, 1999]
$\leq 0,3$	Maanalainen kiskoliikenne vanhoilla asuinalueilla [DIN 4150-2, 1999] ¹⁾
$\leq 0,25$	Uudet asuinalueet, junat [FRA 1998]
$\leq 0,20$	Uudet asuinalueet, kisko- ja tieliikenne [DIN 4150-2, 1999]
$\leq 0,15$	<i>Suhteellisen hyvät olosuhteet, kisko- ja tieliikenne</i> [NS 8176, 1999]
$\leq 0,15$	Erityisrakennukset (kisko- ja tieliikenne), jotka on tarkoituksellisesti suunniteltu häiriöttömiksi [DIN 4150-2, 1999]
$\leq 0,10$	<i>Hyvät asuinolosuhteet, kisko- ja tieliikenne</i> [NS 8176, 1999]

Taulukossa 3 on koottu eri lähteistä esitettyjä suosituksia painotetun tehollisarvon v_w ohjejarvoiksi eikä niitä voi täysin verrata taulukossa 2 esitettyihin 95 % todennäköisyydellä esiintyviin arvoihin. Suuruusluokka on kuitenkin hyvin lähellä ja antaa suuntaa.

Taulukossa 4 on yleisarvot ihmisten kokemasta tärinästä sekä erilaisten rakennusten tärinärajat 20 m etäisyydellä rakennuksesta. Tässä vertailussa on käytetty heilahdusnopeuden pystykomponentin huippuarvoa.

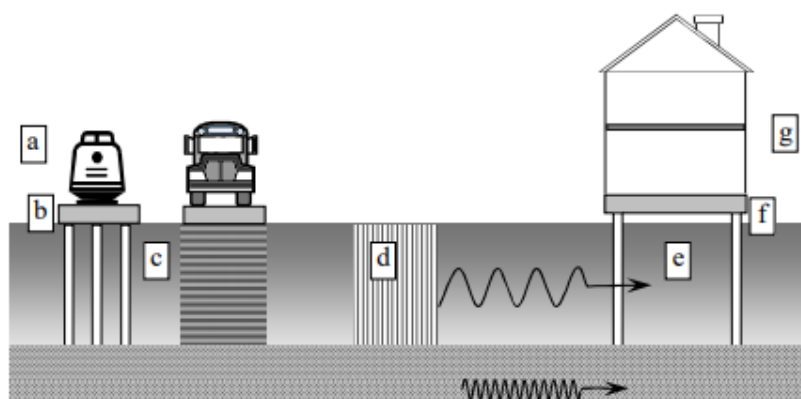
Taulukko 4. Ihmisten kokemukset tärinästä sekä rakennusten tärinärajat (Vuolio 1991).

Ihmisen alttius	heilahdusnopeus <i>mm/s</i>	Rakennusten tärinärajat 20 m etäisyydellä
Tuskin huomattava	2 - 5	
Havaittava	5 - 10	Herkät laitteet
Epämiellyttävä	10 - 20	
Häiritsevä	20 - 35	Historialliset rauniot
Erittäin epämiellyttävä	35 - 50	Normaali rakennus
	50 - 70	

5. RAUTATIELIIKENTEEN MELUN JA TÄRINÄN TORJUNTA

5.1 Tärinän eristys

Tärinää voidaan pienentää eristämällä tärinän lähde tai eristämällä rakenne. Ensin mainittu on ns. aktiivieristystä ja jälkimmäinen passiivieristystä. Eristysmenetelmänä toimivat tärinän vähentäminen, tärinäaaltojen etenemisen katkaiseminen tai dynaamisen kuormituksen aiheuttaman tärinän vastustamisen massan hitaudella. Oma lukunsa on matalat aallot, joita voidaan minimoida rakenteiden jäykistämällä. (Hakulinen 2011)



Kuva 13. Tärinän vaimennus vaihtoehtojen kuvaus (Talja 2011)

Rautatieliikenteen tärinää voidaan vaimentaa kuvan 13 mukaisesti monin keinoin, joista ensimmäisenä vaihtoehtona on muokata junakalustoa akselipainoa pudottamalla. Samoin junien nopeuden pudotuksella ja kiskojen tasaisuudella saadaan yhtä huomattavat vaimennukset tärinään, sillä karkean arvion mukaan kaikkien yllä mainittujen puolittaminen puolittaa tärinän voimakkuuden. Nopeuden pudottaminen lähtökohtaisesti pudottaa ympäristön tärinää, mutta tärkeintä on löytää nopeus, jossa maaston muoto ei ala vahvistamaan tärinää. Nopeuden tai painon pudotus ei ole kuitenkaan aina mahdollista, jolloin tärinän vaimennus on hoidettava rakenteellisin muutoksilla. Pehmeällä maapohjalla tärinää aiheuttavaa värähtelyä voidaan hallita perustamalla rautatie kovaan maaperään, kuten kallioperään. Käytännössä tämä voidaan toteuttaa massanvaihdolla, kalkkisementtistabiloinnilla tai paalulaatalla. Kyseinen tuenta toimii sitä paremmin, mitä ohuempi maakerros on, jolloin kova maaperä on lähempänä rataa. Eristävyttä parantaa tuennan jäykkyys. (Talja, 2011)

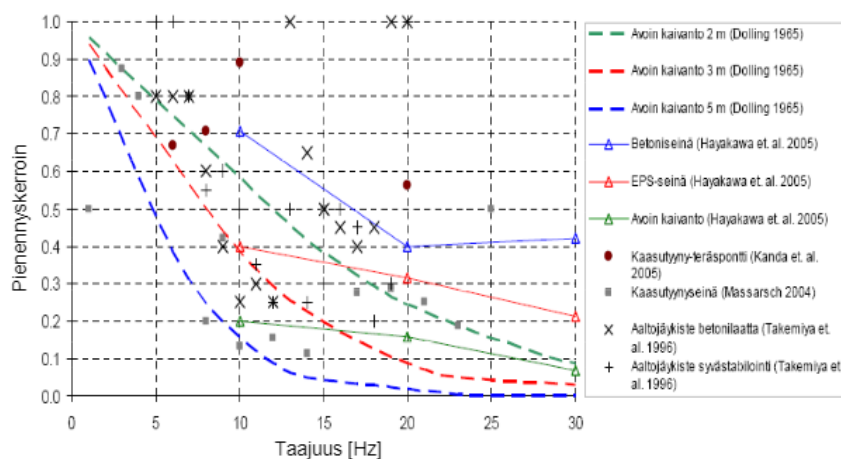
Kiskoliikenteen aiheuttamaa värähtelyä voidaan pienentää lisäämällä radan alusrakenteiden joustavuutta. Tarvittava lisäjousto voidaan saavuttaa sijoittamalla pehmeä eristekerros radan tukikerroksen kohtaan. Toisena vaihtoehtona on rakentaa koko tukikerros kel-

luvaksi laataksi. Radan joustoa ei kuitenkaan voi lisätä rajattomasti vaarantamatta turvallisuutta. Siksi jouston lisäys toimii käytännössä vain niin kovilla maapohjilla, joissa hallitsevat värähtelyt esiintyvät yli 20 Hz:n äänitaajuusalueella. Pehmeän maapohjan tapauksessa tärinä voi täten jopa lisääntyä. (Talja 2011)

Pehmeikköjen läheisyydessä tärinää voidaan vähentää maapohjaa jäykemmällä ja radansuuntaisilla rakenneseinämillä, joka on esitetty kuvassa 13 kirjaimella d. Seinät voidaan tehdä stabiloituina pilariseinäminä tai -vyöhykkeinä sekä ponttiseinäminä, ja ne rakennettaisiin radan viereen. Tärinäeste toimii paremmin, kun maan ja esteen jäykkyysero on mahdollisimman suuri sekä mitä syvemmälle tärinäeste on perustettu (Talja 2011). Mitä lähempänä tärinäseinä sijaitsee rata-alueetta, sitä paremmin se eristää tärinää. Värähtelyä vaimennetaan myös ympäristön maapohjaa pehmeämmillä ojarakenteilla. Ojarakenteet ovat joko ilmatäytteisiä syviä kuplaseinämiä tai bentoniittitäytteisiä syväoimia. Sekä seinämien että ojien vaimennus perustuu niiden taipumukseen taittaa tai heijastaa tärinääaltoa ja näin sulkea osa tärinästä radan puolelle. (RHK. 2004)

Rakennuksessa tärinän torjunta voidaan hoitaa perustamalla tai tukemalla rakennuskoivaan maaperään kuten kallioon. Tällöin saadaan suodatettua pois usein savimaisilla alueilla vallitseva matalataajuinen värähtely. Myös erinäisillä välipohjan ja lattianeristyksillä kyetään pienentämään asuinhuoneistojen tärinää huomioimalla se jo suunnitteluvaiheessa. (Talja 2011)

Tärinän värähtely sijoittuu alhaisille taajuuksille ja kuvassa 14 on vertailtu erilaisten tärinäseiniä vaikutusta vaimenemiseen savimaisessa maastossa. Avokaivannot on laskettu teoreettisesti 2 m, 3 m ja 5 m syvyisinä ojina ja ne on esitetty kuvassa katkoviivoilla. Ne on laskettu puoliäärettömällä mallilla. Tämän lisäksi kuvaan on merkitty mittauksin tehtyjä pisteistä, jossa on käytetty betoniseinää, EPS-seinää, avointa kaivantoa, kaasutyyny-teräspontti rakennetta, kaasutyynyseinää sekä kahta aaltojäykistettä. (Talja et al. 2009)



Kuva 14. Tärinäeristysratkaisujen vaikutus eri taajuihin värähtelyyn 10-20 metrin etäisyydellä tärinäestestä. (Talja et al. 2009)

Kuvassa 14 on vertailutärinän eristävyyttä tärinäkertoimen avulla. Mitä pienempi kerroin on, sitä paremmin kyseinen rakenne vähentää tärinää. Mittaukset on suoritettu 10 – 20 metrin etäisyydellä tärinälähteestä, joka aiheuttaa lievää heittoa eri tulosten vertailua. Kuvan 14 mukaan tehokkain vaimennus on avoimella kaivannolla. Avoimen kaivannon tärinän eristys paranee, mitä syvempi kaivanto on.

5.2 Melun vaimennus

Meluntorjuntaa voidaan tehdä monin keinoin. Ensisijaisesti tavoitteena on vähentää syntyvän melun määrää. Tämän jälkeen lisäksi pyritään estämään melun leviäminen. (Soosalu & Innanen 2009, s. 13)

Melunhaittojen torjuntaan voidaan vaikuttaa maankäyttöä ohjaamalla. Tällä vaikutetaan melun aiheuttamaan häiritsevyyteen sijoittamalla radan läheisyyteen toimintoja, joissa sallittu melutaso ei ole yhtä tiukka kuin asuinalueilla. Käytännössä radan varteen rakennettaisiin autotalli- tai varastorakennuksia. Vanhoihin asuinrakennuksiin tosin ei auta enää maankäytön ohjaaminen, jolloin on panostettava melun lähteeseen. (Soosalu & Innanen 2009, s. 13)

Junakalustolla on myös vaikutusta melun leviämiseen. Rautatieliikenteen melu syntyy pääosin pyörän ja kiskon kohtaamisesta. Melu vaimenee raiteen ja pyörien ollessa pinnaltaan mahdollisimman tasaiset. Niiden karheutta ja tasaisuutta parannetaan kunnossapitohionnan avulla tai vaihtamalla kuluneet pyörät uusiin. Junan pyöriin tai kiskoihin voidaan lisätä äänenvaimentimet. Melulähteen rajaamisella, kuten kiskopyörien tai junavauunun alaosan koteloinnilla, voidaan rajoittaa melun leviämistä. Jarrutuksesta syntyvän meluun voidaan vaikuttaa jarrumateriaalilla. Vanhemmissa junissa käytetyt valurautajarrut ovat koväänisiä mutta niiden korvaaminen komposiittirakenteisilla jarruilla vähentää jarrutusmelua. (Soosalu & Innanen 2009, s. 14)



Kuva 15. Kumiset kiskonvaimentimet (Vahtera 2011) sekä pyörien kotelointi (Soosalu & Innanen 2009)

Radan ympäristön rakenteelliset ratkaisut mahdollistavat melun vaimentamisen ja leviämisen estämisen. Yleisin meluntorjuntarakenne on meluaita, joka voidaan valmistaa betonista, teräs- tai alumiinikaseteista, puusta sekä vanerista tai erilaisista läpinäkyvistä materiaaleista. Meluesteenä voi toimia myös maa-aineksesta perustettu meluvalli tai tiheällä kasvillisuudella. Melueste pyritään ensisijaisesti sijoittamaan mahdollisimman lähelle melulähdettä, jolloin sen suojausvaikutus on tehokkain. Ympäristön maasto saattaa rajoittaa joissain tapauksissa esteen sijoittamista. Este sijoitetaan kauemmaksi radasta, jos meluesteestä saadaan tällöin huomattavasti matalampi. Melueste tai -valli voi kuitenkin aiheuttaa vaikutuksia ympäristön estetiikkaan, jos ne rajaavat näkymää tai muuten erottuvat ympäröivästä maisemasta. Tällöin ihmiset suhtautuvat niihin kielteisesti. Esteen yhteydessä käytetään melua absorboiva betonirakennetta raiteiden välissä. (Soosalu & Innanen 2009, s. 16, RHK 2004)



Kuva 16. Teräsrakenteinen ja alumiininen meluaita (Soosalu & Innanen 2009, s. 16-18)

Rautatien läheisissä rakennuksissa melun leviämisen vaimennuksen mahdollisuudet ovat rajalliset. Tällöin rakennuksen osilla voidaan eristää ympäristömelu rakennuksen ulkopuolelle valmistamalla talosta mahdollisimman tiiviin. Sisämelun äänieristävyyttä voidaan parantaa ikkunoiden, ovien ja venttiilien lisäämällä tiiviyyttä sekä niiden rakenteellista painoa. Ikkunoiden tapauksessa moninkertaiset lasit lisäävät eristävyyttä. (Vahtera 2011)

6. YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin junaliikenteestä aiheutuvan melun ja tärinän vaikutusta ihmisiin ja sen kokemista. Aluksi käsiteltiin melun ja tärinän luonnetta ja niiden leviämisen vaikuttavia tekijöitä. Samalla tutkittiin, miten ne huomioidaan suunnittelussa ja kuinka paljon melulle ja tärinälle on olemassa ohjaavia normeja. Kirjallisuustutkimuksena suoritettussa työssä esiteltiin ratkaisuja näiden vaimentamiseen sekä hallintaan.

Rautatieliikenteellä on vankka rooli niin henkilö- kuin tavaraliikenteen osalta. Suhteessa tieliikenteeseen määrät ovat kuitenkin vähäisiä Suomen asukastiheyden sekä kattavan tieverkoston vuoksi. Liikennemäärät oletettavasti pysyvät ennallaan, mutta nopeudet ja junakalustot ovat kasvamaan päin.

Tärinä on maaperän värähtelyä ja se etenee kauimmas tärinäherätteestä pehmeillä maala-jeilla. Rautatieliikenteen tärinän suuruus koostuu staattisesta ja dynaamisesta kuormituksesta. Niitä kasvattaa erityisesti akselipainot, junan nopeuden kasvu, raiteen ja pyörän muotopoikkeamat ja epäjatkuvuuskohtien suuruus. Tärinä leviää helpoiten maan ollessa savea sekä vesipitoisuuden ollessa korkea. Rautateiden melu koostuu lähinnä vierintämelusta, jonka lisäksi kaupunkien läheisyydessä voi merkittäviksi meluiksi nousta moottorista ja jarrutuksista syntyvä melu. Melu leviää parhaiten esteettömällä reitillä.

Rautatieliikenteen aiheuttava tärinä aiheuttaa ihmiselle asumismukavuuden vähenemistä, keskittymiskyvyn häiriintymistä, nukkumisen häiriintymistä, pelkoa rakennevaurioista tai kiinteistön arvon alenemisesta. Tärinän lisäksi melu aiheuttaa lisäksi stressiä, sykkeen nousua, ja kohonnutta verenpainetta. Suomessa haitat rajoittuivat lähinnä unihäiriöihin ja stressiin isossa kuvassa, koska aina melun tai tärinän lisäksi on muita tekijöitä sairauksien syntyyn. On kuitenkin selvää, että yleisen asumisviihtyvyyden väheneminen voi olla tulevaisuuden huolenaihe entistä hektisemmässä elämässä.

Tärinän torjunnassa tehokkain keino olisi pudottaa nopeuksia asuinalueiden lähetyvillä, mutta junaliikenteen kannattavuuden kannalta se ei ole toimivaa. Rakenteen jäykistäminen on usein kallista jo rakennetuille radoille, joten ylläpidon huolellisuus on avainasemassa tärinän ehkäisemisessä ihmisten viihtyvyyden kannalta. Meluntorjunnassa taas junakalustoon panostaminen tuo parannuksia melun vähenemiseen tehokkaimmin. Jos käytössä on resursseja ja maankäytöllisesti löytyy tilaa, niin meluste on varteenotettava keino pienentää melua.

LÄHTEET

- Auvinen, T. (2010). Junaliikenteen aiheuttama tärinä ja sen vähentämisen vaikutus asuinviihtyvyyteen, Diplomityö, Aalto yliopisto, Espoo, Saatavissa: https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/30178/master_auvinen_turo_2010.pdf?isAllowed=y&sequence=1
- Eurasto, R., Määttä, A. & Parviainen, S. (2011). Railway bonuksen käyttökokemukset EU maissa ja railway bonuksen sovellettavuus Suomessa, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 11/2011, Helsinki, Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts_2011-11_railway_bonuksen_web.pdf
- Haahla, A. & Heinonen-Guzejev, M. (2012). Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Helsinki, Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-12-12.pdf>
- Hakulinen, M. (2011). Rakenteiden dynamiikan perusteet, Tampereen teknillinen yliopisto.
- Helin, E. & Lapp, T. (2018). Riihimäki-Tampere -rataosan tarveselvitys, Liikennevirasto, Saatavissa: https://www.liikennevirasto.fi/documents/20485/417835/Lapp_Tuomo_Helin_Erika_Riihim%C3%A4ki-Tampere-rataosan_tarveselvitys.pdf/9abe23a1-b006-4f82-bb26-c4def65e8213
- Jauhiainen, T., Vuorinen, H. & Heinonen-Guzejev, M. (2007). Ympäristömelun vaikutukset, Ympäristöministeriö, Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38400/SY_3_2007_Ymparistomelun_vaikutukset.pdf
- Kaaresoja, K., (2007). Suomen rataverkon tärinäselvitys A 6/2007, Ratahallintokeskus, Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf4/rhk_2007-a6-suomen-rataverkon_web.pdf
- Kylliäinen, M. (2006). Talonrakentamisen akustiikka, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos, Tutkimusraportti, vol. 137, Tampere.
- Leppänen, H., (2008). Paalutuksesta ja pontituksesta aiheutuva tärinä, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere
- Levomäki, M. (1999). Rautatieliikenteen aiheuttama tärinä, 250 kN:n ja 300 kN:n akselipainot, A 3/1999, Ratahallintokeskus, Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/146344/rhk67.pdf?sequence=1>
- Liikennevirasto, (2014). Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 3 Radan rakenne, Helsinki, Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-17_rato3_web.pdf

- Liikennevirasto, (2015). Rautateiden verkkoselostus 2017, Liikenneviraston väylätietoja 2/2015, Helsinki, Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121458/lv_2015-02_978-952-317-164-0.pdf?sequence=1
- Liikennevirasto, (2017). Julkisen liikenteen suoritetilasto 2015, Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/142459/lti_2017-06_978-952-317-433-7.pdf?sequence=2
- Liikennevirasto, (2018a). Euroopan laajuinen liikenneverkko TEN-T, verkkosivu, Saatavissa (Viitattu 1.11.2018): <https://www.liikennevirasto.fi/liikennejarjestelma/ten-t#.W9LS02gzbIV>
- Liikennevirasto, (2018b). Rataverkko, verkkosivu, Saatavilla (Viitattu 27.11.2018): https://www.liikennevirasto.fi/rataverkko#.W_xt8OgzbIV
- Liikennevirasto, (2018c). Valtion rataverkko 1.1.2018, kartta, Saatavilla (Viitattu 2.12.2018): https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/23375/Rataverkko2018_web.pdf/afb63fc3-22cb-4a6b-a503-db3dd90b7ea1
- Liikonen, L. & Leppänen, P. (2005). Altistuminen ympäristömelulle Suomessa -Tilannekatsaus 2005, Ympäristöministeriö, Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40626/SY_809.pdf?sequence=1
- Luoma, R. & Nuutilainen, O. (2000). Rautatieliikennetärinän mittaus, Muhos-loppuraportti, työnumero 8696, Geobotnia Oy,
- LVM. (2018). Liikenne- ja viestintäministeriön asetus maanteiden ja rautateiden pääväylistä ja niiden palvelutasosta, 21.11.2018, Saatavissa: <https://www.lvm.fi/lvm-site62-mahti-portlet/download?did=287146>
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 5.2.1999, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>
- Mikkonen, K. & Tuominen, H. T., (2001). Valtakunnallinen rautatieliikenteen melun suuruusluokkaselvitys, A 14/2001, Ratahallintokeskus, Helsinki, Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf4/rhk_2001_a14.pdf
- Peltonen, T., Backholm, M. & Lahti, T. (2013). Raideliikenteen melu ja tärinä tutkimuksia, Akustinen seura ry, Saatavissa: http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2013/08/peltonen_backholm_lahti.pdf
- Pesonen, K. (2014). Ympäristömelun vaikutuksista sekä vaikutusten arvioinnista ja hallinnasta, Ympäristöministeriön raportteja 4/2014, Helsinki, Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/135967/YMra_4_2014.pdf?sequence=1

- Pirkanmaan maakuntakaava 2040, Tampere, Saatavissa: https://maakuntakaava2040.pirkanmaa.fi/sites/default/files/Maakuntakaava_2040_MKV_27032017_.pdf
- Ratahallintokeskus (2004), Lahden kaupunkiseudun rataympäristöselvitys Vaihe 2, Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf4/lahden_rataymparistoselvitys/rataymparistoselvitys_vaihe2.pdf
- Ratahallintokeskus, (2006). Ratahallintokeskuksen toiminta- ja taloussuunnitelma vuosille 2008 – 2011, Helsinki, Saatavissa: <https://docplayer.fi/7265206-10-11-2006-ratahallintokeskuksen-toiminta-ja-taloussuunnitelma-vuosille-2008-2011.html>
- Soosalu, L. & Innanen, H. (2009). Matalat meluesteet raidemelun torjunnassa A10/2009, Ratahallintokeskus, Helsinki, Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/146441/rhk188.pdf?sequence=1>
- Talja, A. (2004). Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta, VTT tiedotteita 2278, Espoo, Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2278.pdf>
- Talja, A. (2011). Ohjeita liikennetärinän arviointiin, VTT Tiedotteita 2569, Espoo, Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2569.pdf>
- Talja, A. & Saarinen, A. (2009), Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi, VTT tiedotteita 2468, Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2468.pdf>
- Talja, A. & Törnqvist, J. (2014). Liikennetärinä: Alueiden tärinä kartoitus ja rakenteiden vaurioitumisalttius, VTT, saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-R-04703-14.pdf>
- Talja, A., Fulop, L., Kurkela J., Vepsä, A. & Törnqvist, J. (2009). Tärinäesteiden mahdollisuudet liikennetärinän vaimentamisessa. Espoo: VTT. 58 s. Tutkimusraportti, VTT-R-00963-09. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/284156658_Tarinaesteiden_mahdollisuudet_liikennetarinan_vaimentamisessa
- Tiihinen, J. & Hänninen, O. (1997). Meluntorjunnan perusteet, meluntorjunnan koulutusaineisto ja käsikirja. Kuopio: Oy Edita Ab. ISBN-10: 952-11-0583-6
- Trafi, (2011). Rautateiden tavanomaisen liikkuvan kaluston melu, määräys, Saatavissa: [https://www.trafi.fi/filebank/a/1355235015/c30673ee69b23dd42a4c6eebe0c77712/10877-Melu-YTE_\(luonnos\).pdf](https://www.trafi.fi/filebank/a/1355235015/c30673ee69b23dd42a4c6eebe0c77712/10877-Melu-YTE_(luonnos).pdf)

- Törnqvist, J. & Nuutilainen, O. (2002). Rautatieliikenteen värinän vaikutus rakenteisiin. Vaurioalttiuden kartoittaminen ja mittaaminen, VTT tiedote, Otamedia Oy,
- Vahtera, E. (2011). Raidemelun vaimennuskyky matalien melusteiden tuotevaatimuksena, Diplomityö, Aalto-yliopisto, Espoo, Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2011/urn100561.pdf>
- Valtioneuvoston päätös melutason ohjeista P993/1992. (1992). Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>
- Vuolio, R. (1991). Räjätystyöt 1991, Suomen maarakentajien keskusliitto. Helsinki, ISBN 952-90-2761-3
- YM. (2004). Pohjarakenteet, Suomen rakentamismääräyskokoelman osa B3, määräykset ja ohjeet, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/data/normit/17075/B3s.pdf>
- Ympäristöministeriö, (2007). Valtioneuvoston periaatepäätös meluntorjunnasta, Helsinki, Ympäristöministeriön raportteja 7/2007, ISBN 952-11-2618-5, Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41509/YMra_7_2007_Vnp_meluntorjunnasta.pdf?sequence=2
- Ympäristösuojelulaki 527/2014, 27.6.2014, Helsinki, Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140527>
- Äänitasomittari, (2019). Ympäristömelun mittaus, MIP, verkkosivu, Saatavissa (Viitattu 2.1.2019): <http://aanitasomittari.fi/sovellukset/ymparistomelun-mittaus/>